



TITLE:

Energy Harvesting Characteristics of Nonlinear Oscillators under Excitation(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Kubota, Madoka

CITATION:

Kubota, Madoka. Energy Harvesting Characteristics of Nonlinear Oscillators under Excitation. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18991>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016/03/20に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	窪田まど華
論文題目	Energy Harvesting Characteristics of Nonlinear Oscillators under Excitation (外力を受ける非線形振動子のエネルギー収集特性)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、環境中に遍在する振動エネルギーを収集するエネルギー・ハーベスティング技術に着目し、その典型的な周波数分布を持つ振動エネルギーを収集できる機構の提案をしたものである。対象とする振動は、周波数成分が複数重畳、または連続的な周波数分布を有する振動としている。それらの振動エネルギーの収集において、線形振動子の共振をエネルギー収集機構の原理としてそのまま適用した場合、特定の周波数の振動エネルギーしか吸収することができないことは周知である。しかしながら、共振現象の物理メカニズムに基づく非線形振動子や結合振動子の特性に着目した結果、周波数成分が複数重畳、または連続的な周波数分布を有する振動に対しても、これらの振動子によるエネルギー収集の可能性があることを示している。本論文はこれらの検討結果をまとめたものであって、6章から構成されている。</p>			
<p>第1章は序論であり、本研究の背景および研究の意義と目的について述べている。</p> <p>第2章では、線形振動子が単一周波数の外力を受ける場合のエネルギー吸収について説明している。線形振動子の固有周波数に外力の周波数が合った場合を共振と呼び、エネルギーの吸収が100%となる。共振においてエネルギー吸収を決める支配パラメータが線形振動子の振幅及び、外力との位相差であることに着目し、次章以降で振幅及び位相差に着目し、エネルギー吸収の議論を行うための準備をしている。次に本研究が対象としている複数の周波数成分が重畳、もしくは連続的な周波数分布を有する振動において、共振と同様に位相と振幅を定義している。また、次章以降で外力と振動子間のエネルギーの流れを理解するために、機械－電気間のアナロジーについてまとめている。</p> <p>第3章では、周波数成分が複数重畳した振動からのエネルギー吸収について数値的に検討している。まず、線形振動子を用いて周波数成分が複数重畳した振動からのエネルギー吸収を試み、共振周波数以外のパワーが取れないことを確認した。そこで、周波数に幅がある外力に対して応答が可能な非線形振動子を提案し、非線形振動子を用いたエネルギー吸収を検討している。次に、非線形振動子として、機械系のモデルとして知られている Duffing 振動子を採用している。そして、第2章で定義した位相と振幅を Duffing 振動子に適用し、それらの値とエネルギー吸収との関係を考察している。その結果、位相差が小さいほど、また振幅が大きいほどエネルギー吸収が増加するという性質、すなわち線形振動子の共振の特性と同じ傾向が得られることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、低周波で周波数に広がりがある振動からエネルギー吸収する検討を実験的かつ数値的に行っている。まず、樹木構造のエネルギー収集器を製作し、その挙動とエネルギー吸収について検証している。ここでは、7つの振動子を樹木構造に組み立てたものを使用し、その挙動が3次元となる3D構造と、挙動がほぼ平面内に収まる2D構造の2種類を製作した。3次元構造の各振動子に加速度センサーを取り付け、風下に置いた場合の挙動を解析した結果、樹木構造は外力の周波数の分布する幅を狭める働きを持つことを見出した。これより、樹木構造が吸収する振動が、固有の周波数で効率の良いエネルギー変換特性を示す電磁誘導機構や圧電素子などを介して電力に変換するのに適する特性を有することを明らかにした。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	窪田まど華
<p>次に、2D 構造に様々な周波数成分を持つ外力を与え、樹木構造および比較のために用いた7つの振動子による array 状構造において、エネルギー吸収を計算した。その結果、外力の周波数成分が多いほど樹木構造の方がエネルギーをよく吸収することを明らかにしている。この結果は、樹木構造において、array 状構造よりも小さな固有周波数が含まれていることに由来している。そこでさらに、低い固有周波数を持つ単一振子と樹木構造との特性を比較した。その結果、低周波外力に対して樹木構造は自身の固有周波数を保ちながら振動を続けるが、単一振子は一定の周波数を保ち難い傾向があった。一方、樹木構造は一定の周波数を保ち、振幅を維持するとともに、エネルギー吸収の増加により適することを示している。</p> <p>第5章では、周波数成分が広がり連続した振動からのエネルギーの収集を試みる検討を行っている。周波数成分が広がった連続スペクトルからなる微小な振動の励振により振動子が確率共鳴を生じる原理を、エネルギー収集機構に適用することを提案している。その構造において収集率を増加させる手法を、エネルギーの時間変動を表す電力に関する力率調整の原理に基づいて提案し、従来信号レベルで議論されてきた確率共鳴の現象を、機械系モデルに基づくエネルギーの視点から扱うことができることを示している。確率共鳴は、ランダムなノイズの一部分が制御信号に引き込まれる現象であるが、ここでは制御信号に対応する正弦波外力の成分が、ノイズのエネルギーに由来するパワーの寄与を受けることを示した。第2章でまとめた機械—電気アナロジーに基づき、確率共鳴が生じた場合には、正弦波と同じ周波数成分を含む有効電力が増大することを明らかにした。この結果は、確率共鳴時の信号対ノイズ比の増大を、エネルギーに着目して解釈したものとなっている。これに基づき、確率共鳴がエネルギーハーベストの方法の1つとなり得ることを示した。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の研究の可能性についてまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、環境中に遍在する振動エネルギーを収集するエネルギー・ハーベスティング技術に着目し、その典型的な周波数分布を持つ振動エネルギーを収集できる機構の提案をしたものである。対象とする振動は、周波数成分が複数重畳、または連続的な周波数分布を有する振動としている。それらの振動エネルギーの収集において、線形振動子の共振をエネルギー収集機構の原理としてそのまま適用した場合、特定の周波数の振動エネルギーしか吸収することができないことは周知である。しかしながら、共振現象の物理メカニズムに基づく非線形振動子や結合振動子の特性に着目した結果、周波数成分が複数重畳、または連続的な周波数分布を有する振動に対しても、これらの振動子によるエネルギー収集の可能性があることを示している。本論文はこれらの検討結果をまとめたものであって、得られた主要な成果は以下の通りである。

- (1) エネルギー収集率を高める典型的な例である共振において、外力と外力を受ける物体の位相差が一定である場合、エネルギー収集率が高い。同様に、外力の周波数が複数ある場合においても複数周波数からなる外力の位相を定義することにより、その位相がエネルギー回収率を支配することを数値的に明らかにした。
- (2) 低周波を多く含む振動からエネルギー収集を行う機構として、樹木構造の結合振動子を提案している。この機構には外力が有する周波数帯域を狭める働きがあることを理論かつ実験的に明らかにし、効率の良いエネルギー回収の手段を与えることを実験的に示した。また本機構が、電磁誘導や圧電素子など固有周波数を持つエネルギー変換器の適用に適していることを示している。
- (3) エネルギーが拡散した周波数の連続する振動からエネルギーの収集を試みる検討を行っている。連続スペクトルからなる微小な振動の励振を受けた振動子が確率共鳴を生じる原理が、エネルギー収集機構に適用できることを提案している。その構造において収集率を増大化する手法をエネルギーの時間変動を表す電力の力率調整の原理に基づいて提案している。

上記のように本論文は、振動エネルギーの収集システムにおいて非線形振動子および結合振動子の特性を活かすことができる可能性を、理論、数値計算、実験によって原理的に明らかにしたもので、非線形力学および振動論の基礎学理が応用に寄与することを示したものであって、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降